CAPÍTULO V

RESULTADOS.

5.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se presentan para su posterior discusión los valores obtenidos en las diferentes pruebas y análisis realizados para caracterizar al material y su recubrimiento, así como los resultados de las pruebas de soldabilidad y la evaluación de los botones de soldadura efectuados en este estudio. La presentación de estos datos se realizará siguiendo el orden establecido en la metodología experimental mostrada en el Capítulo IV, en el que se establece como la principal diferencia al contenido de Sb en la paila durante el procesamiento, por lo que los dos materiales se catalogan de acuerdo a esta condición.

Para facilitar la interpretación de los valores obtenidos y su posterior discusión, éstos se representan a través de tablas y gráficas realizadas con el paquete computacional Excel, reportando los valores como datos de tendencia central, al citar la media (μ) como la estimación de la cantidad medida y a la desviación estándar (σ) como la estimación de la precisión para η-1 grados de libertad; en cada caso se reporta el tamaño de la muestra (η) empleada [86]. Los valores así obtenidos se representan como $\mu \pm \sigma$, redondeando el valor de σ a una o dos cifras significativas y utilizando en la μ la misma precisión usada en la σ correspondiente.

5.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para revelar la presencia de errores aleatorios dentro de los resultados obtenidos se realizaron medidas repetidas, aplicando algunos conceptos estadísticos fundamentales.

El valor promedio de las medidas repetidas se expresa como la media aritmetica o media, que se define por la Ecuación 5.1; en donde η es igual al tamaño de la muestra o bien, el número total de mediciones [86]. Mientras que la variabilidad de los resultados está dado por la desviación estándar que se define por la Ecuación 5.2 [86].

$$\mu = \frac{\sum x_i}{\eta} \tag{5.1}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i}^{n}(x_i - \mu)}{\eta - 1}} \tag{5.2}$$

Para detectar la presencia de posibles datos desviados entre las medidas registradas, estas fueron revisadas con las pruebas N1, N9 y N14 que se definen por las Ecuaciones 5.3 [86], 5.4 [86], 5.5 [86], 5.6 [86], 5.7 [86], respectivamente. Donde $x_1, x_2 \ldots x_n$ representan las mediciones ordenadas de menor a mayor [86].

$$N_1 = \frac{x_n - \mu}{s} \quad \text{(Evalúa } x_n\text{)} \tag{5.3}$$

$$N_1 = \frac{\mu - x_1}{s} \quad \text{(Evalúa } x_1\text{)} \tag{5.4}$$

$$N_9 = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} \quad \text{(Evalúa } x_n\text{)} \tag{5.5}$$

$$N_{14} = \frac{x_n - x_1}{x_n - x_1} \quad \text{(Evalúa } x_1\text{)} \tag{5.6}$$

$$N_{14} = \frac{\sum (x_i - \mu)}{\eta \cdot \sigma^3} \quad \text{(Evalúa la simetría)} \tag{5.7}$$

Para comparar los valores de dos o más medias y contrastar si difieren entre sí significativamente, se utilizó el análisis de varianza o método ANOVA reportando el valor estadístico F obtenido y su correspondiente valor crítico (F_C): en donde si F es mayor al F_C no existe diferencia significativa entre las medias comparadas, pero si F es menor al F_C si existe diferencia significativa entre ellas [86]. La aritmética de los cálculos ANOVA se presenta en las Ecuaciones 5.8 [86], 5.9 [86], 5.10 [86] y 5.11 [86].

$$F = \frac{S_B^2}{S_W^2} \tag{5.8}$$

$$S_B^2 = \frac{n_1(\bar{x}_1 - x_g)^2 + n_2(\bar{x}_2 - x_g)^2 + n_3(\bar{x}_3 - x_g)^2 + \ldots}{K-1} \tag{5.9}$$

$$S_W^2 = \frac{\sum(x - x_1)^2 + \sum(x - \bar{x}_2)^2 + \sum(x - x_3)^2 + \ldots}{N - K} \tag{5.10}$$

$$N = n_1 + n_2 + n_3 + \ldots \tag{5.11}$$

En donde:

F = Estadístico de contraste.

S_B^2 = Variación entre muestras.

S_W^2 = Variación dentro de muestras.

N = Total de datos.

K = Número de muestras.

5.3 CONDICIONES DE PROCESAMIENTO.

La Figura 5.1 muestra el diagrama de tiempo – temperatura obtenido del procesamiento de los materiales, dicho diagrama fue elaborado en base a la velocidad de procesamiento de la lámina, las temperaturas registradas y la localización de los puntos de lectura. Mientras que la Tabla 5.1 muestra los parámetros operativos del horno inductor y las condiciones operativas del baño de zinc utilizados en ambos casos.

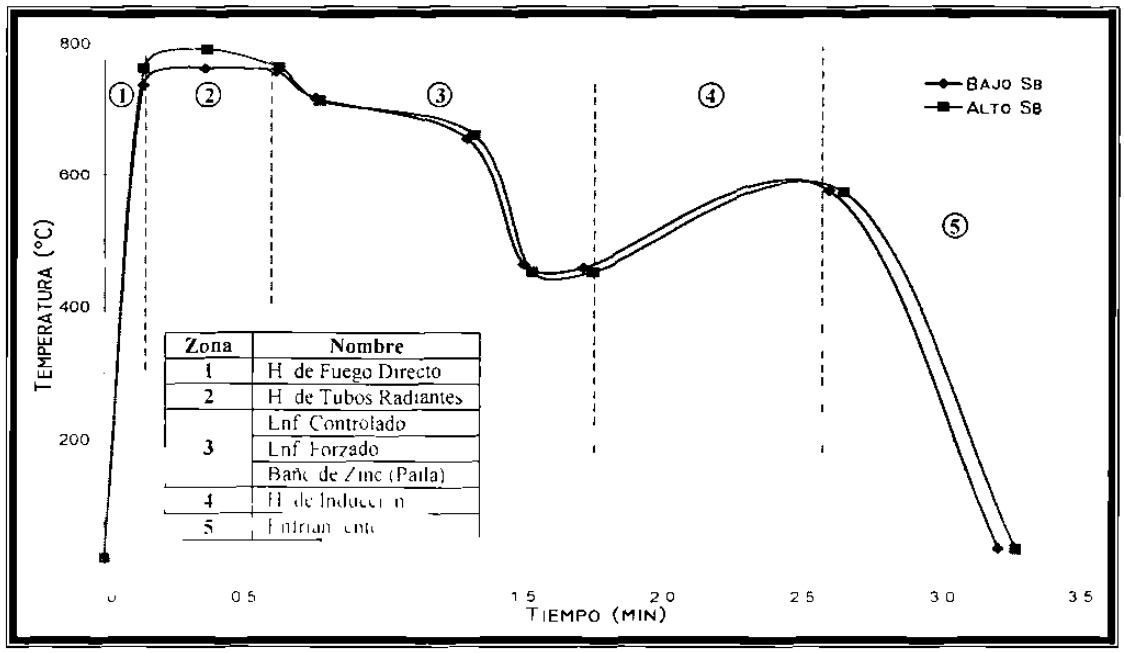


Figura 5.1. – Diagrama de procesamiento de la lámina (recocido y termogalvanizado) para las condiciones de recubrimiento con alto y bajo Sb.

Tabla 5.1. – Parámetros de operación de la paila y el horno inductor.

Mat.	Sb (ppm)	Al (ppm)	T. Paila (°C)	Vel. (m/min.)	I (Amp.)	Voltaje (V)	Potencia (kW)	Frec. (kHz)
Bajo	544.0	1235.8	460.8	37.3	1792	720	648	68.0
Alto	932.4	1352.9	454.3	36.5	1810	722	640	68.0

5.4 CARACTERIZACIÓN DE LA LÁMINA.

A continuación se presentan los resultados de la caracterización del metal base.

5.4.1 Medición del espesor.

La Tabla 5.2 muestra las mediciones del espesor de la lámina, el cual resulto muy uniforme a lo ancho del rollo, encontrándose sin variación significativa de un material a otro mediante un análisis de varianza (Prueba ANOVA) con un valor F = 5.31.

Tabla 5.2. – Valores de espesor promedio por material.

Variable	Bajo Sb	Alto Sb
Espesor (mm)	0.6941 ± 0.0022	0.6925 ± 0.0021
Mediciones para (η = 15); F_C = 4.1.		

5.4.2 Rugosidad Superficial.

La Tabla 5.3 muestra el promedio de los valores de rugosidad medido en ambos materiales y los resultados del análisis de varianza efectuado entre ambos materiales. Se encontró variación significativa en los parámetros Ra y RPc de ambos materiales, siendo ligeramente mayores en el material procesado con alto Sb. Además se encontró que no hay diferencia significativa entre los valores Ra y Ry de las dos caras (F = 2.33, 4.40; F_c = 1.75), mientras que existe una ligera diferencia en el valor RPc (F = 1.34; F_c = 1.75).

Tabla 5.3. – Valores de rugosidad superficial por material, dirección y cara de la lámina.

Material	Dir.	Ra (µm)		Ry (µm)		RPc 10% (1/cm)	
		Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Bajo Sb	L	1.04 ± 0.07	1.06 ± 0.06	5.99 ± 0.41	6.21 ± 0.31	104 ± 12	100 ± 13
	T	1.03 ± 0.11	1.00 ± 0.09	6.10 ± 0.29	6.10 ± 0.37	102 ± 9	109 ± 13
Alto Sb	L	1.15 ± 0.10	1.10 ± 0.09	7.1 ± 0.9	7.0 ± 0.7	96 ± 19	101 ± 14
	T	1.11 ± 0.08	1.07 ± 0.07	7.1 ± 0.6	6.93 ± 0.41	104 ± 11	110 ± 9
Valor F	L	6.658	1.071*	10.839	11.541	1.040*	0.062*
	T	2.764*	3.239*	21.121	20.613	0.182*	0.050*
Mediciones para (η = 9); F_C 4 494; * – Indica una diferencia significativa.							

5.4.3 Ensayo de tensión.

Las Figuras 5.2 y 5.3 muestran los diagramas esfuerzo – deformación obtenidos a partir de los ensayos de tensión a 0°, 45° y 90° de la RD en ambos materiales, mientras que la Tabla 5.4 presenta los valores de las propiedades mecánicas. Los parámetros de formabilidad (valor n y valor $\bar{r}$) calculados se observan en la Tabla 5.5.

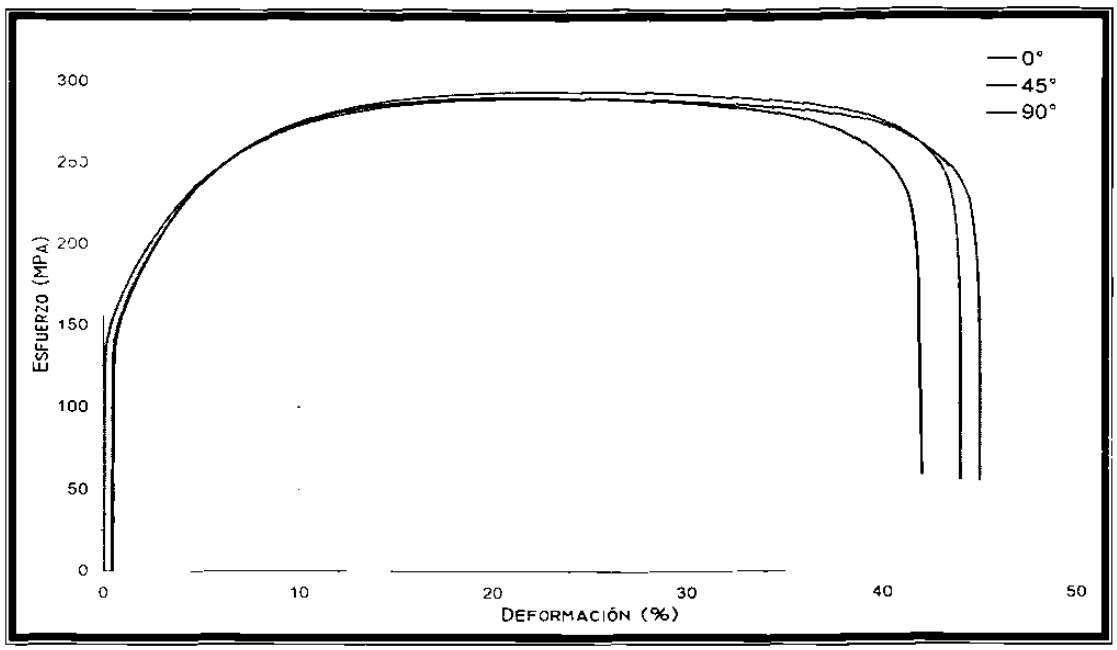


Figura 5.2. – Diagrama esfuerzo – deformación para bajo Sb.

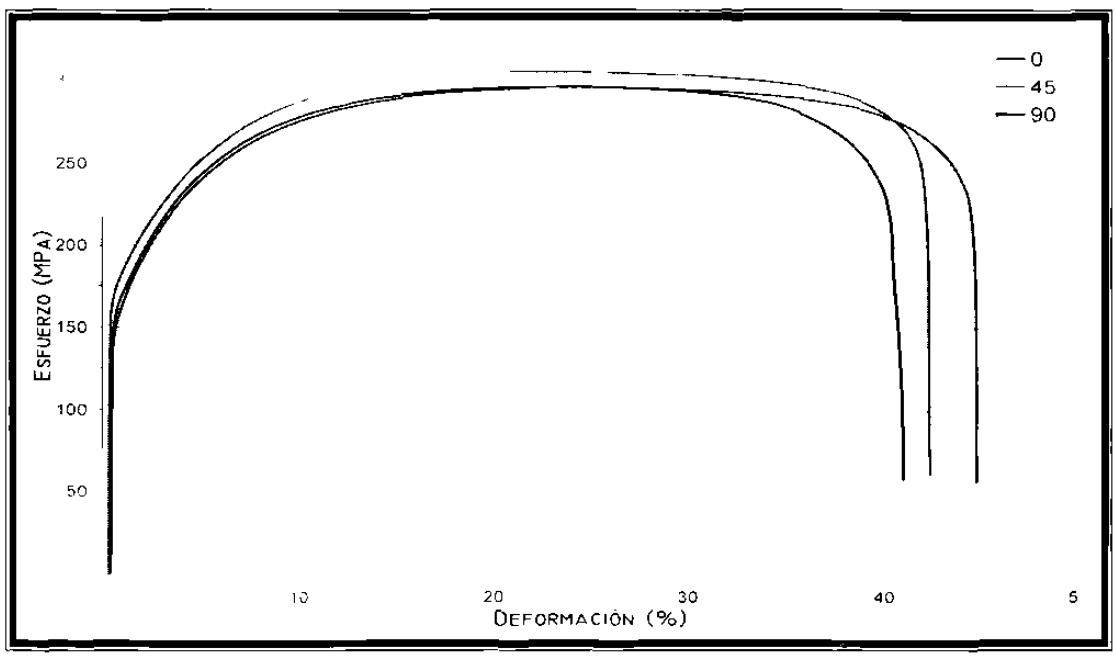


Figura 5.3. – Diagrama esfuerzo – deformación para alto Sb.

Tabla 5.4. – Propiedades mecánicas de ambos materiales a 0°, 45° y 90°.

Muestra		Esfuerzo de Cedencia	Resistencia a la Tensión	Esfuerzo a la Fractura	Tenacidad	Relación de Esfuerzo	Elongación Total
		MPA	MPA	MPA	MPA	---	(2") %
Bajo Sb	0°	143 ± 7	290.0 ± 0.4	55.6 ± 2.0	129.5 ± 4.3	0.494 ± 0.025	44.7 ± 1.5
	45°	149 ± 8	293.5 ± 1.6	54.8 ± 3.1	126.2 ± 3.0	0.509 ± 0.024	43.0 ± 1.0
	90°	147 ± 9	289.8 ± 2.1	56.3 ± 1.2	122.7 ± 5.3	0.507 ± 0.036	42.3 ± 1.5
Alto Sb	0°	151.0 ± 3.0	296.2 ± 1.4	56.4 ± 2.4	132.3 ± 2.0	0.510 ± 0.008	44.7 ± 0.6
	45°	162.5 ± 4.2	304.1 ± 0.7	57.9 ± 3.2	128.7 ± 4.7	0.534 ± 0.013	42.3 ± 1.5
	90°	161.8 ± 3.5	295.8 ± 1.2	56.1 ± 1.9	123.2 ± 2.0	0.547 ± 0.010	41.7 ± 0.6

Mediciones para (η = 6); Unidades para pruebas efectuadas bajo la norma ASTM E517 y E646.

Tabla 5.5. – Parámetros de formabilidad de ambos materiales a 0°, 45° y 90°.

Muestra		0°	45°	90°	Media
Bajo Sb	Valor r	2.5 ± 0.7	1.86 ± 0.11	2.34 ± 0.55	2.14 ± 0.05
	Valor n	0.225 ± 0.004	0.227 ± 0.007	0.227 ± 0.012	0.227 ± 0.000022
Alto Sb	Valor r	2.19 ± 0.67	1.63 ± 0.12	2.39 ± 0.56	1.96 ± 0.05
	Valor n	0.230 ± 0.005	0.222 ± 0.005	0.218 ± 0.009	0.223 ± 0.000012

Mediciones para (η = 6); Unidades para pruebas efectuadas bajo la norma ASTM E517 y E646.

5.4.4 Análisis químico.

La Tabla 5.6 presenta el análisis del metal base realizado en el espectrómetro de chispa, el cual cumple con el estándar de composición para un acero IF automotriz de grado 5 requerido por la norma SAE J2329 [8].

Tabla 5.6. – Análisis químico del metal base por espectrometría de chispa (ppm).

Mat.	C	Mn	P	S	Cu	Cr	Nb	Mo	Al	Ti	B
Bajo Sb	50	1230	130	20	70	100	100	30	330	287	2
Alto Sb	60	1260	110	40	70	110	110	30	320	293	2

Además los contenidos de Si, Ni, Ca, V, Sb y Co = 0 ppm; Mediciones para (η = 3).

5.4.5 Análisis óptico.

Las Figuras 5.4 y 5.5 muestran imágenes obtenidas con un microscopio óptico de la microestructura del metal base en ambos materiales, mientras que la imagen en la Figura 5.6 fue obtenida a través del SEM en su función de electrones retrodispersados.

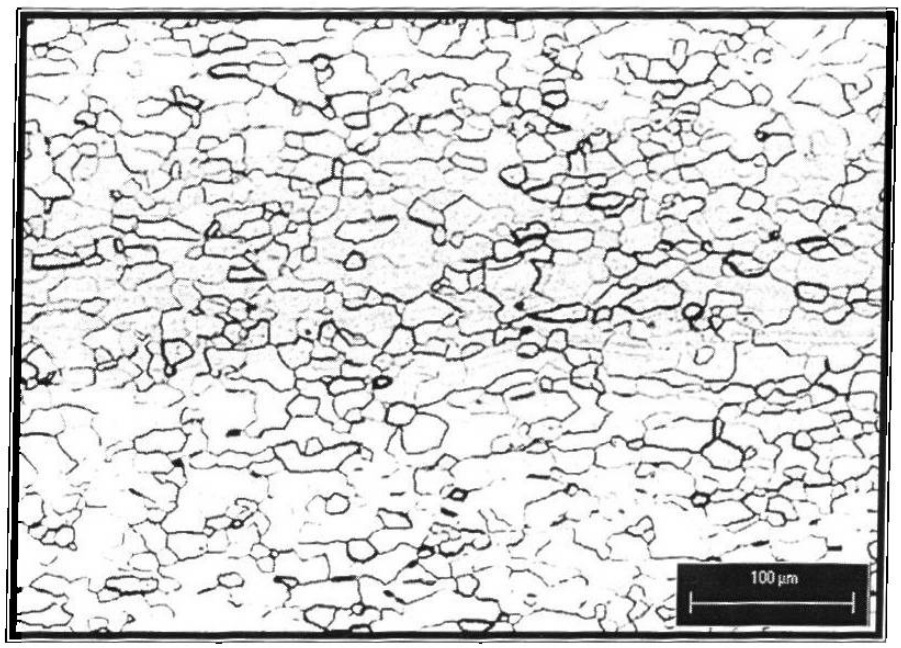


Figura 5.4. – Micrografía del acero IF procesado con bajo contenido de Sb, presenta una estructura ferrítica poligonal con un tamaño de grano ASTM de 9.14 ± 0.15 (14.9 ± 0.8µm).

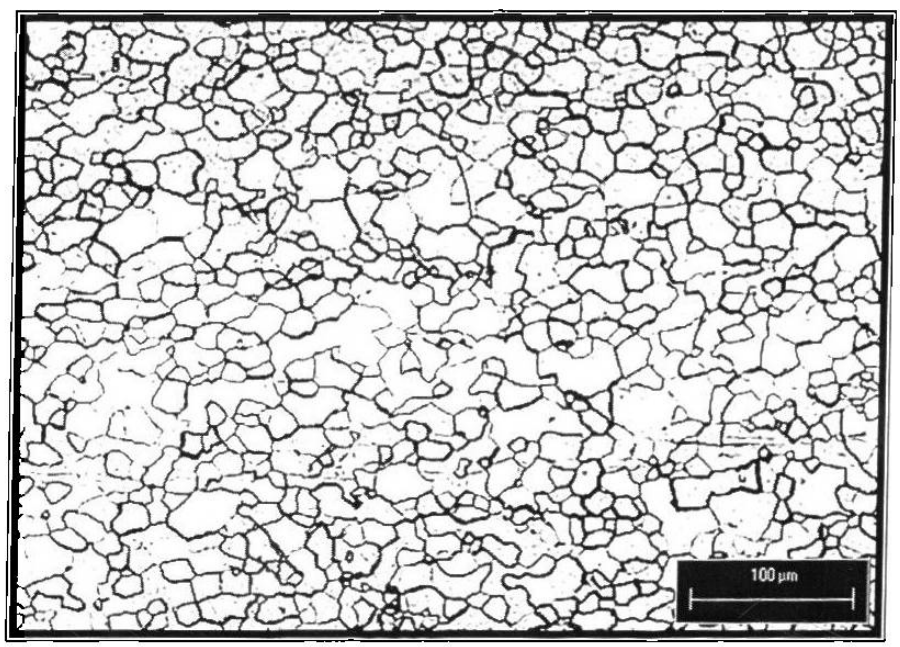


Figura 5.5. – Micrografía del acero IF procesado con alto contenido de Sb, presenta una estructura ferrítica poligonal con un tamaño de grano ASTM de 9.45 ± 0.14 (13.4 ± 0.6µm).

El material procesado con la condición de bajo Sb presenta un tamaño de grano aproximadamente 1.5μm más pequeño que el material con la condición de alto Sb (para $\eta = 9$). Y aunque según el análisis de varianza efectuado esta variación no representa una diferencia significativa ($F = 18.7$; $F_C = 4.6$), esta pequeña diferencia en el tamaño de grano de ambos materiales es suficiente para afectar ligeramente sus propiedades mecánicas, lo que explica los resultados mostrados anteriormente en las Figuras 5.2 y 5.3, y las Tablas 5.4 y 5.5.

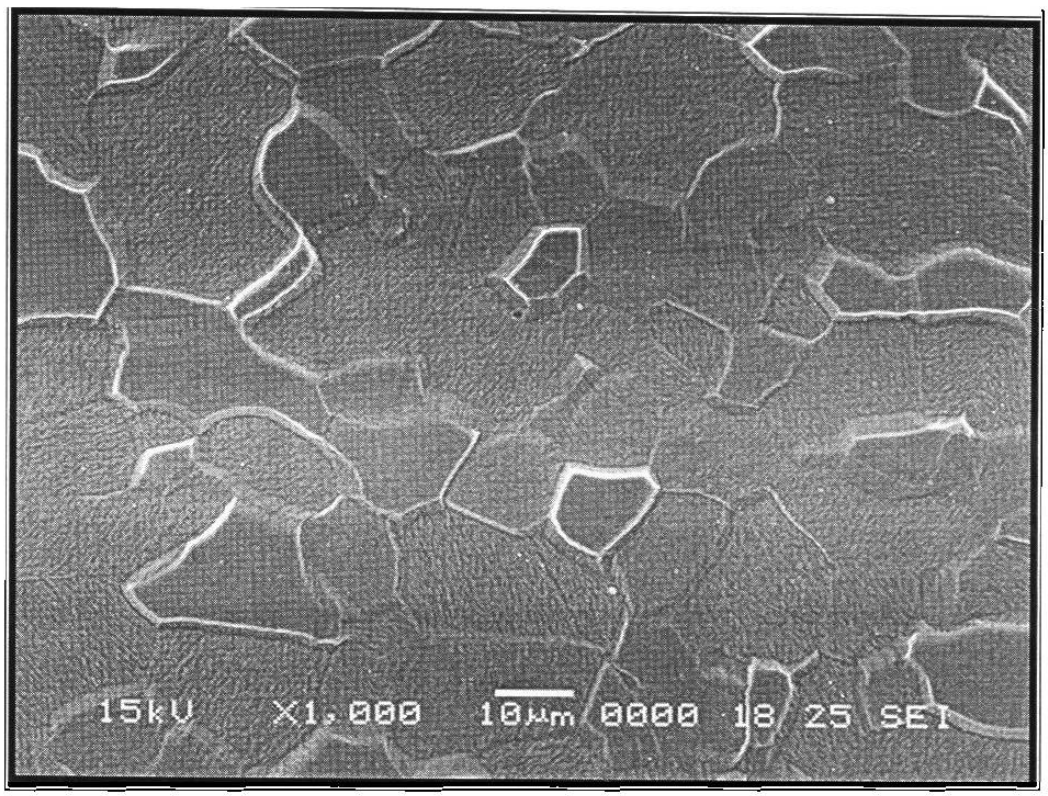
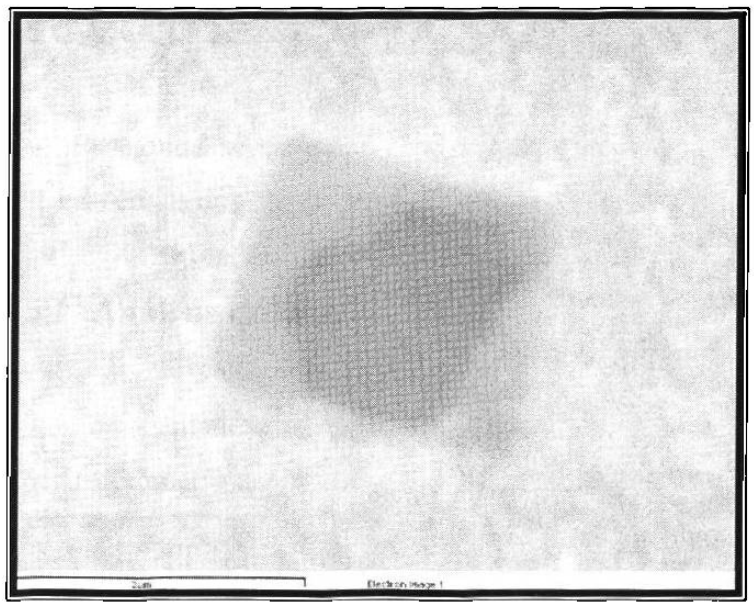


Figura 5.6. – Micrografía del acero IF obtenida por microscopia electrónica de barrido.

La Figura 5.7 corresponde a una micrografía de los precipitados formados en el metal base y su composición obtenidas por microscopia electrónica de barrido, en la imagen se aprecia como está formada por la union de dos componentes, uno de forma cuadrada (nitruro de Ti) y otro con forma redonda (inclusión de Al_2O_3).



Comp. Química		
Elem.	**A**	**B**
N	7.55	---
O	16.06	43.02
Mg	---	0.59
Al	4.55	28.47
Ti	45.11	12.17
Fe	26.73	15.74
Total	100	100

Fase A = Nitruro de Ti
Fase B – Alumina

Figura 5.7. – Micrografía y composición de una inclusión del acero IF obtenidas por SEM.

5.4.6 Ensayos de dureza y microdureza.

La Tabla 5.7 muestra los resultados de las pruebas de dureza superficial efectuados sobre lámina decapada, así como de las pruebas de microdureza transversal obtenidos en ambos aceros.

Tabla 5.7. – Valores de dureza superficial y microdureza transversal.

Material	Dureza (HRB)	Microdureza (HV)
Bajo Sb	35.05 ± 0.85	80.38 ± 3.56
Alto Sb	34.46 ± 1.15	79.42 ± 4.18

Mediciones para (η 9).

5.5 CARATERIZACIÓN DEL RECUBRIMIETO.

Enseguida se presentan los resultados de la caracterización del recubrimiento obtenido en las dos condiciones de procesamiento.

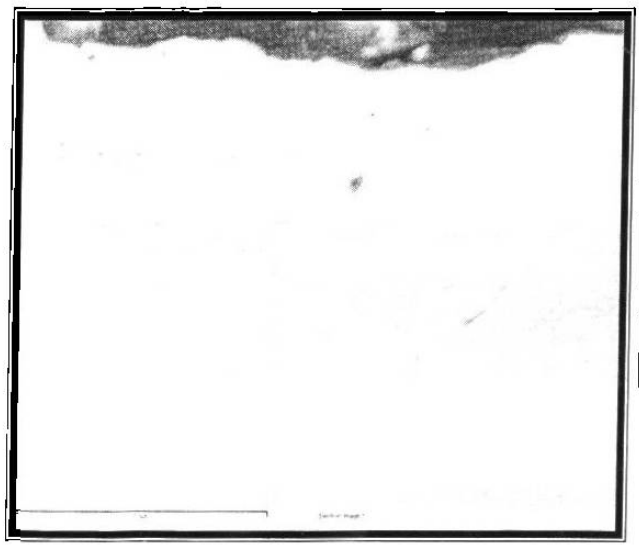
5.5.1 Análisis químico.

Los resultados de la composición química del recubrimiento obtenidos a través del espectrofotómetro de emisión por plasma se muestran en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8. – Composición química del recubrimiento con el espectrofotómetro de plasma.

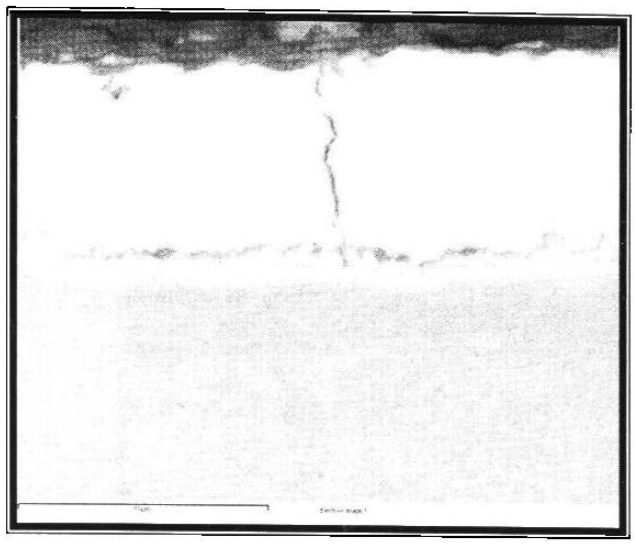
Material	Al (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Fe (% peso)	Zn (% peso) Balance
Bajo Sb	2050 ± 17	37 ± 12	22 ± 6	13.9 ± 0.5	85.8 ± 0.5
Alto Sb	3000 ± 120	233.3 ± 4.0	28.0 ± 4.0	13.5 ± 0.8	86.2 ± 0.8
Mediciones para (η 6).					

Las Figuras 5.8 y 5.9 muestran las fases presentes en el recubrimiento de ambos materiales y su composicion, mientras que en las Figuras 5.10 y 5.11 se observa una linea de barrido de las intensidades de Fe y Zn presentes a traves de un corte transversal en el recubrimiento de cada material, donde la línea oscura indica la intensidad del contenido de Fe y la línea clara la intensidad del contenido de Zn.



Fase	Composición	
	% Fe	% Zn
Delta (δ)	11.4 ± 0.5	88.6 ± 0.5
Gamma (Γ)	26.2 ± 1.0	73 8 ± 1 0
Substrato	100 0	0 0

Figura 5.8. – Fases del recubrimiento procesado con bajo contenido de Sb obtenida con el microscopio electrónico de barrido. Mediciones para (η = 6).



Fase	Composición	
	% Fe	% Zn
← Delta (δ)	9.5 ± 0.5	90.6 ± 0.5
← Gamma (Γ)	27.4 ± 2.9	72.6 ± 2.9
← Substrato	100.0	0.0

Figura 5.9. – Fases del recubrimiento procesado con alto contenido de Sb obtenida con el microscopio electrónico de barrido. Mediciones para (η = 6).

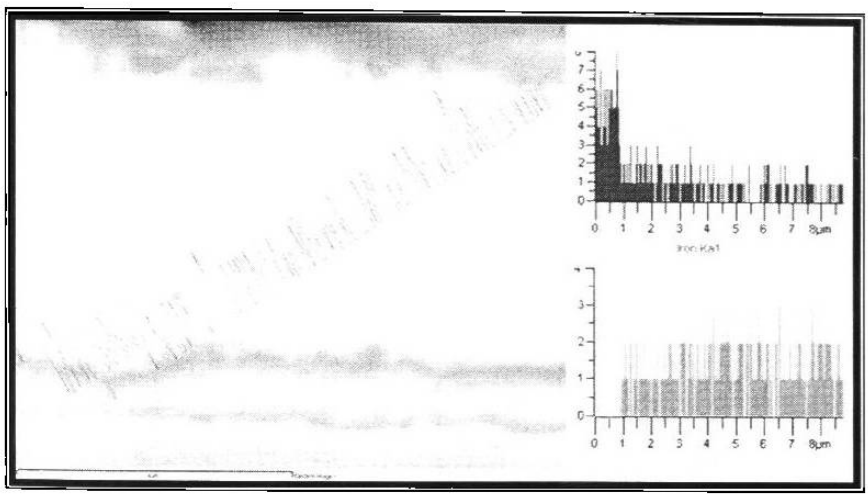
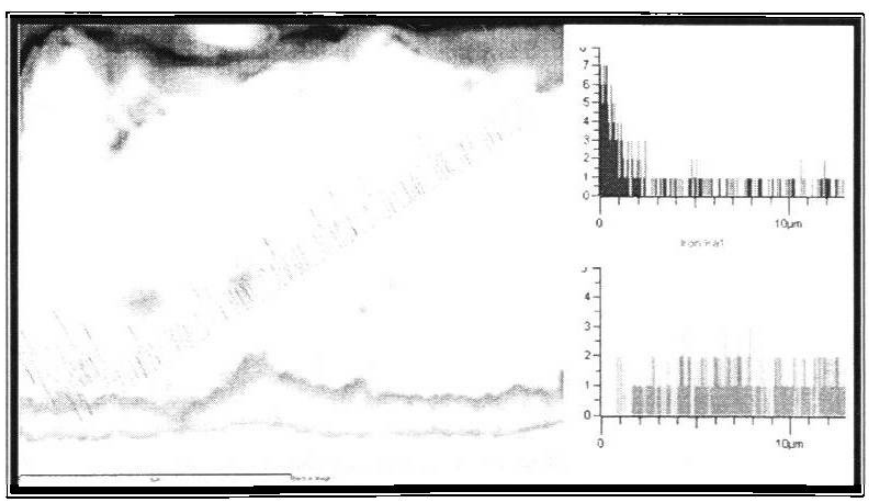


Figura 5.10. – Línea de barrido de intensidades de Fe y Zn en un corte transversal del recubrimiento procesado con bajo contenido de Sb.

Figura 5.11. – Línea de barrido de intensidades de Fe y Zn en un corte transversal del recubrimiento procesado con alto contenido de Sb.



5.5.2 Análisis óptico.

En las Figuras 5.12 y 5.13 se presentan imágenes del recubrimiento en ambos materiales realizadas con el microscopio óptico, el espesor de capa promedio se obtuvo con ayuda del analizador de imágenes.

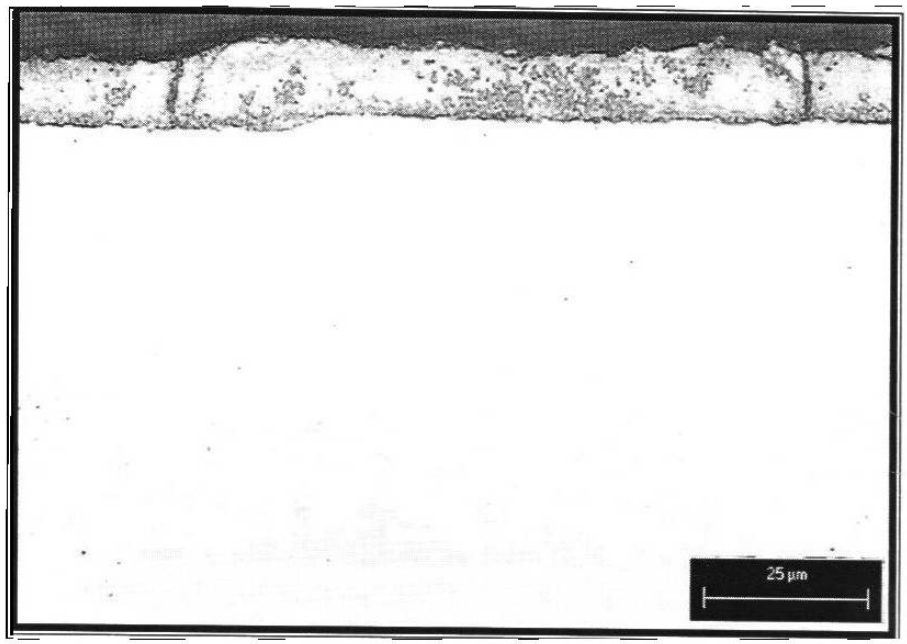


Figura 5.12. – Micrografía del recubrimiento procesado con bajo contenido de Sb obtenida con el microscopio óptico, presenta un espesor de capa de 10.6 ± 1.5µm ($\eta = 9$).

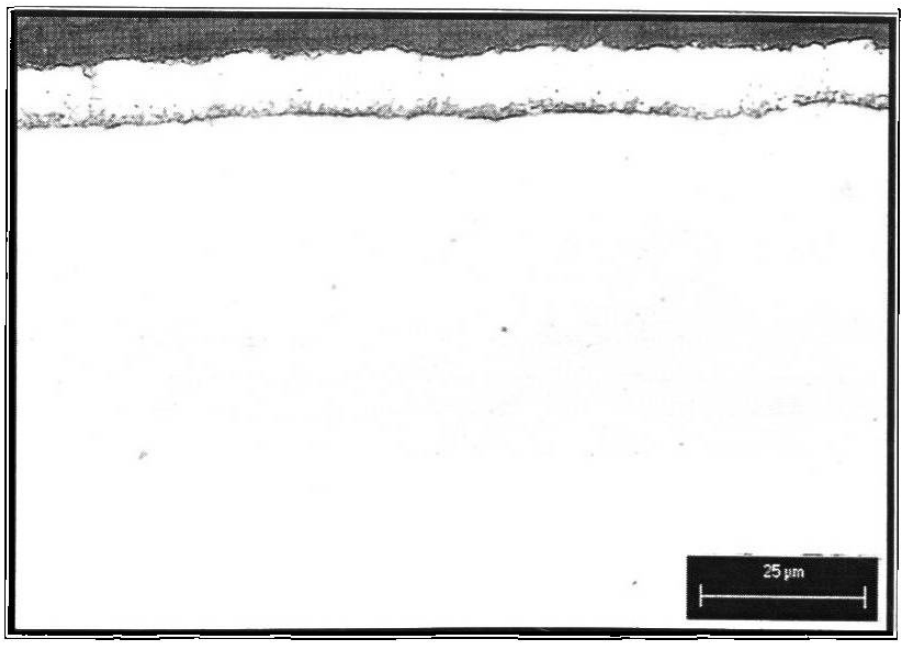


Figura 5.13. – Micrografía del recubrimiento procesado con alto contenido de Sb obtenida con el microscopio optico, presenta un espesor de capa de 8.5 ± 1.4µm ($\eta = 9$).

Mientras que las imágenes mostradas en las Figuras 5.14 y 5.15 fueron obtenidas con el microscopio electrónico de barrido operando en su función de electrones retrodispersados.

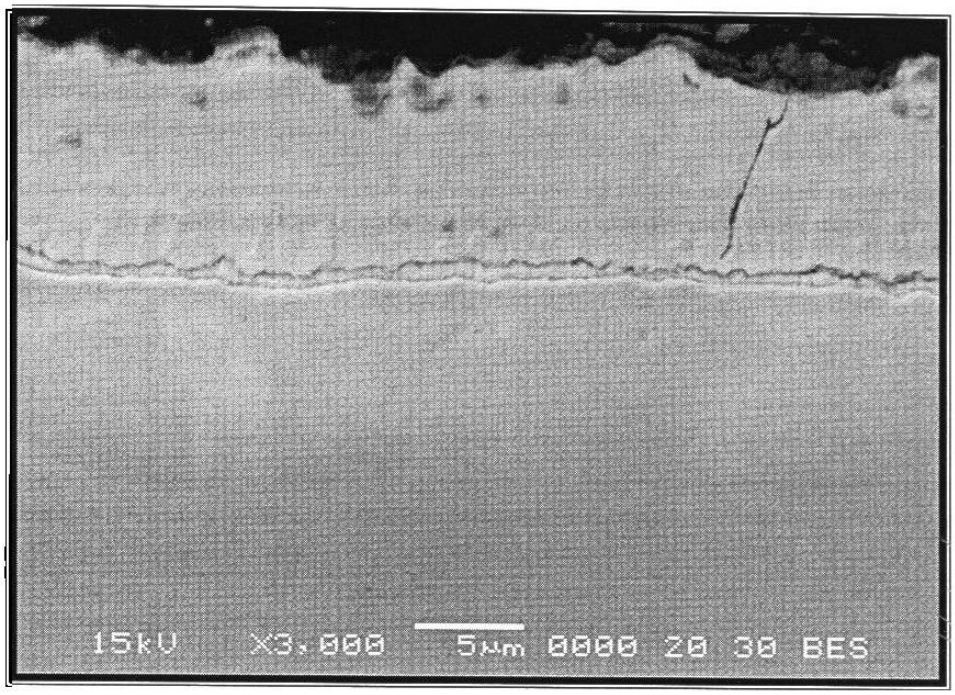


Figura 5.14. – Micrografía del recubrimiento de bajo Sb obtenida en el MEB, la cual presenta una capa Γ uniforme de 0.74 ± 0.16μm (η = 9), representando el 7.4% del espesor total.

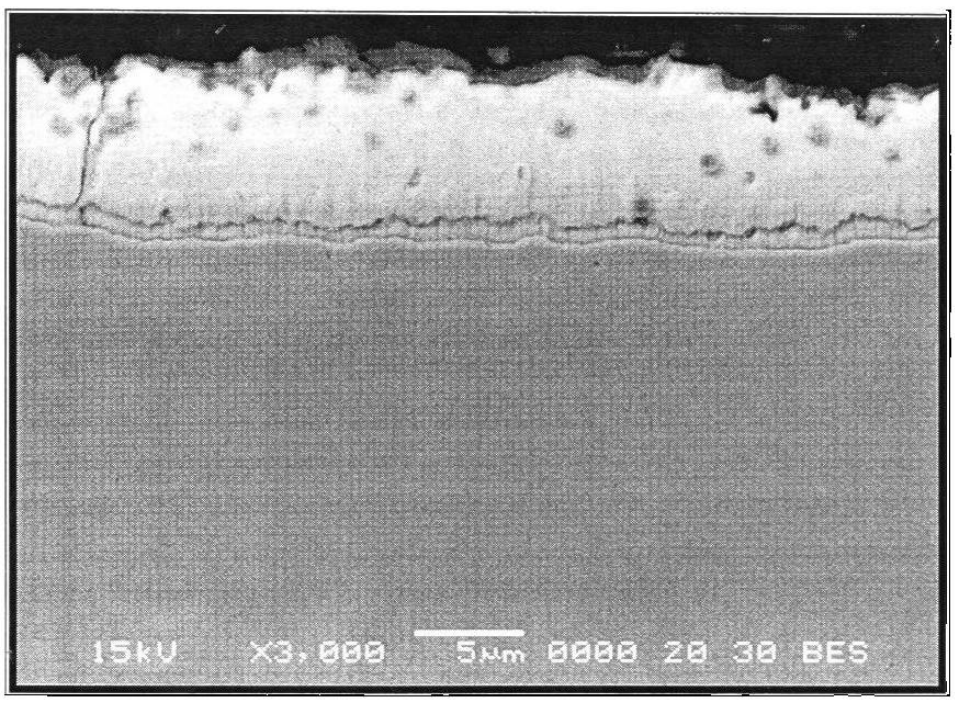
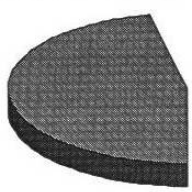
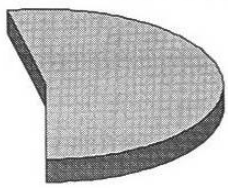
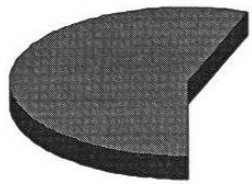
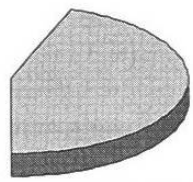


Figura 5.15. – Micrografía del recubrimiento de alto Sb obtenida en el MEB, la cual presenta una capa Γ uniforme de 0.87 ± 0.17μm (η = 9), representando el 12.5% del espesor total.

5.5.3 Peso del recubrimiento.

La Tabla 5.9 muestra los resultados de las pruebas de peso del recubrimiento en ambas caras de las láminas de prueba al ser decapadas con HCl, donde los resultados de la cara superior se representan en color oscuro y los de la cara inferior en color claro.

Tabla 5.9. – Densidad del recubrimiento en cada cara de ambos materiales.

Bajo Sb		Alto Sb	
Superior	**Inferior**	**Superior**	**Inferior**
			
57.9 ± 2.7 (g/m^2)	66.1 ± 3.8 (g/m^2)	66 ± 6 (g/m^2)	53.0 ± 3.4 (g/m^2)
46.7 ± 2.2 (%)	53.3 ± 3.1 (%)	55.48 ± 5 (%)	44.52 ± 2.9 (%)
Mediciones para (η = 9).			

La Figura 5.16 muestra la distribución de peso del recubrimiento a lo largo del rollo de material procesado con bajo Sb, mientras que en la Figura 5.17 se observa la distribución a lo ancho de la lámina para este mismo material. En las Figuras 5.18 y 5.19 se aprecian la distribución del material procesado con alto contenido de Sb a lo largo y ancho de la lámina, respectivamente. Los resultados de la cara superior se representan en color oscuro (rojo) y los de la cara inferior en color claro (azul).

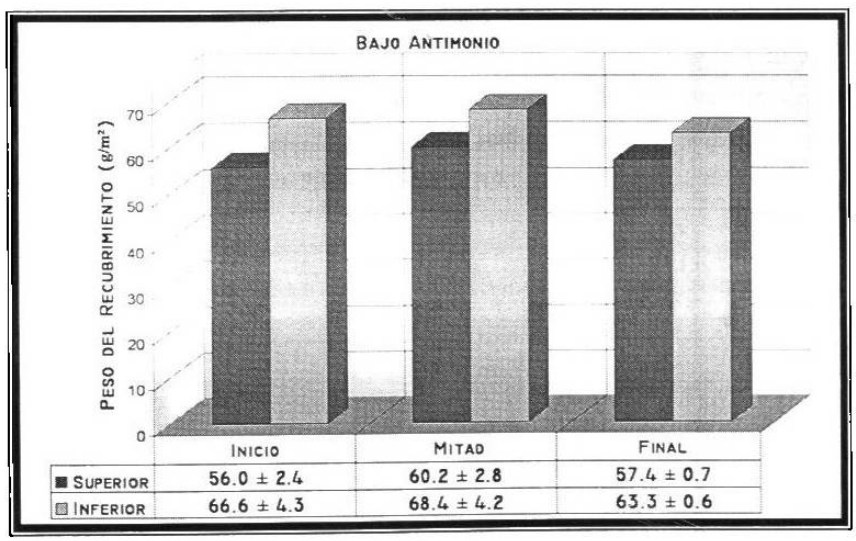


Figura 5.16. – Distribución del peso del recubrimiento con bajo Sb a lo largo del rollo.

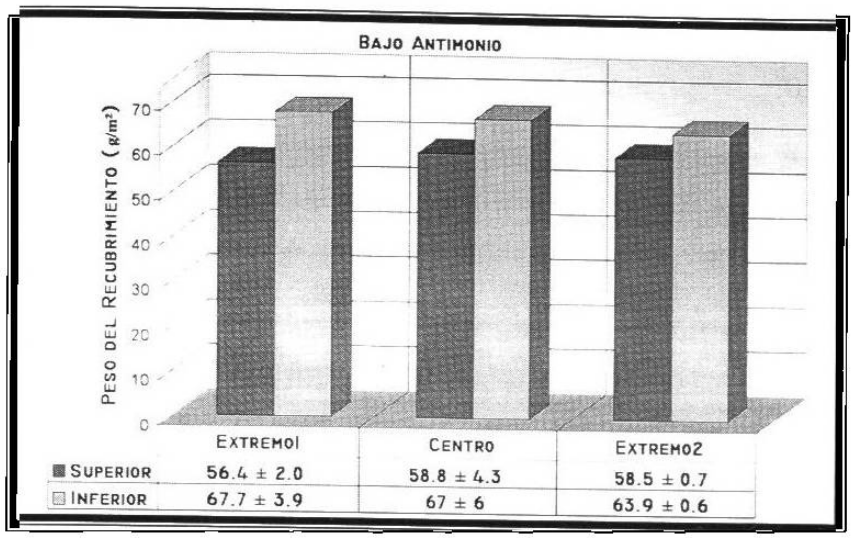
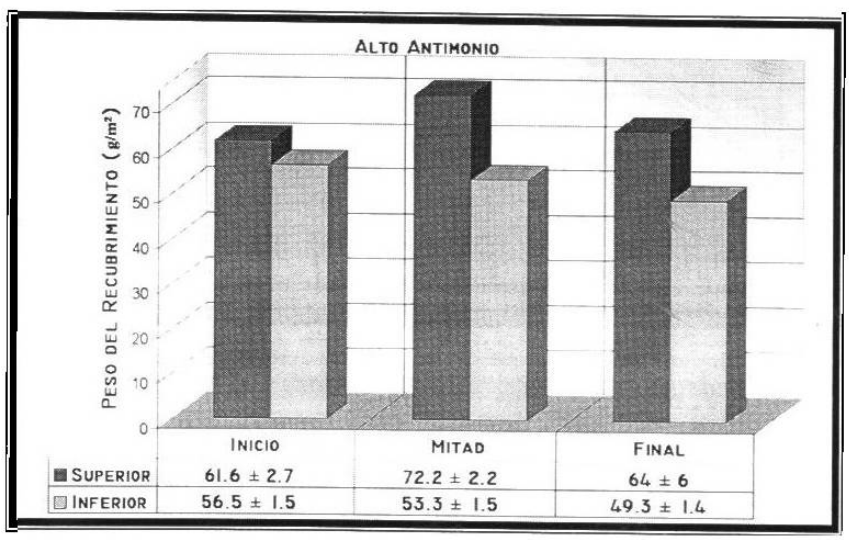


Figura 5.17. – Distribución del peso del recubrimiento a lo ancho de la lámina en el material procesado con bajo Sb.

Figura 5.18. – Distribución del peso del recubrimiento a lo largo del rollo en el material procesado con alto Sb.



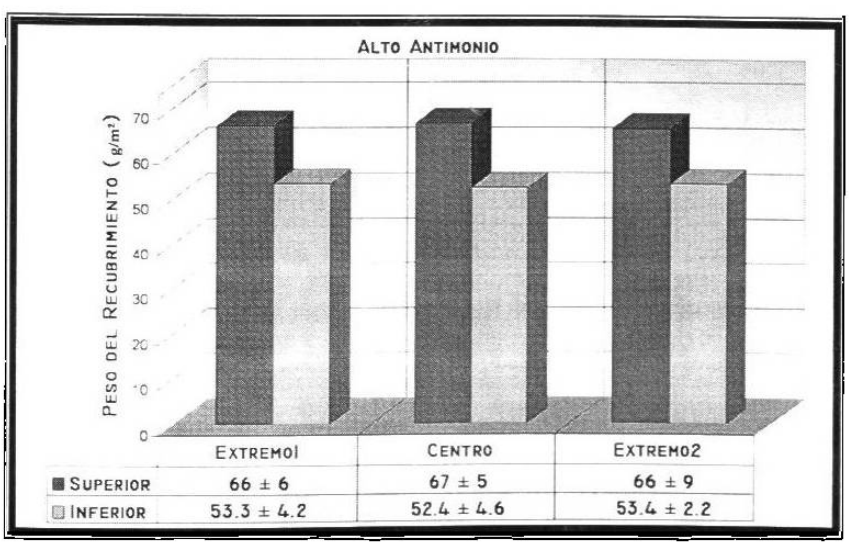
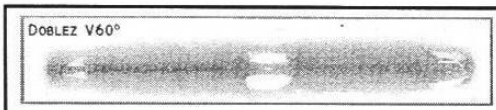
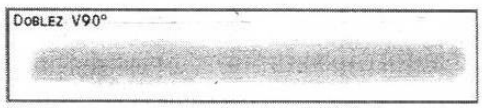
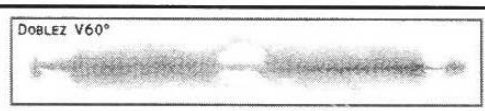
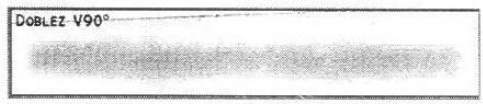


Figura 5.19. – Distribución del peso del recubrimiento a lo ancho de la lamina en el material procesado con alto Sb.

5.5.4 Integridad del recubrimiento.

La Tabla 5.10 muestra los valores de las pérdidas de peso obtenido en las pruebas de doblado y desdoblado en V a ángulos de 60° y 90° realizadas para la evaluación de la integridad del recubrimiento en ambos materiales. Se muestra además la huella del recubrimiento desprendido en forma de polvo, captada por medio de una cinta adhesiva sobre la línea de doblez y el nivel de polvo estimado.

Tabla 5.10. – Resultados de las pruebas de doblez en V60° y V90°.

Bajo Sb		Alto Sb	
Doblez V-60°	**Doblez V-90°**	**Doblez V-60°**	**Doblez V-90°**
			
7.9 ± 0.8 (mg)	5.7 ± 0.6 (mg)	5.5 ± 1.5 (mg)	3.9 ± 1.2 (mg)
N. Polvo = 4.0	N. Polvo = 3.5	N. Polvo = 3.0	N. Polvo = 3.0

N. Polvo = Nivel de polvos; Mediciones para ($\eta = 9$).

Las Figuras 5.20 a 5.23 muestran la variación en la integridad del recubrimiento a lo largo y ancho del rollo de ambos materiales, expresando la pérdida en miligramos de peso de recubrimiento al efectuar las pruebas de doblez a 90° y 60°. Los resultados del recubrimiento procesado con bajo Sb se representan en color oscuro (rojo), mientras que los de alto Sb se representan en color claro (azul).

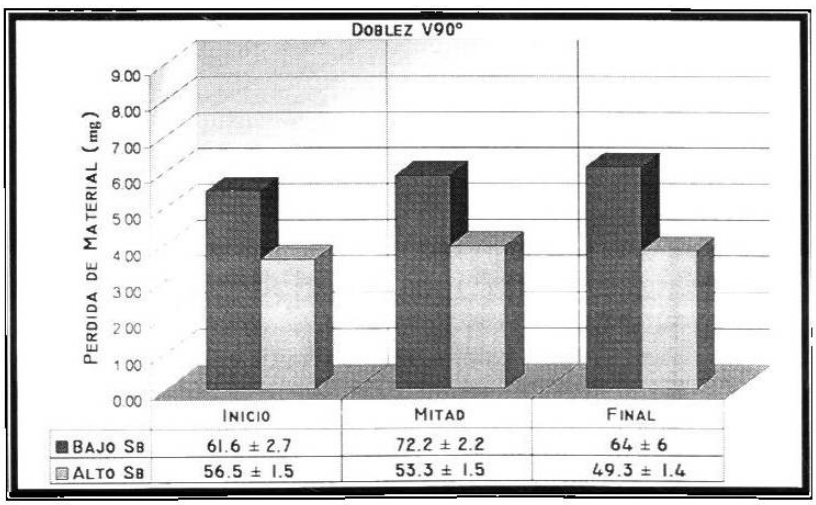


Figura 5.20. – Variación en la integridad del recubrimiento a lo largo del rollo (Doblez a 90°).

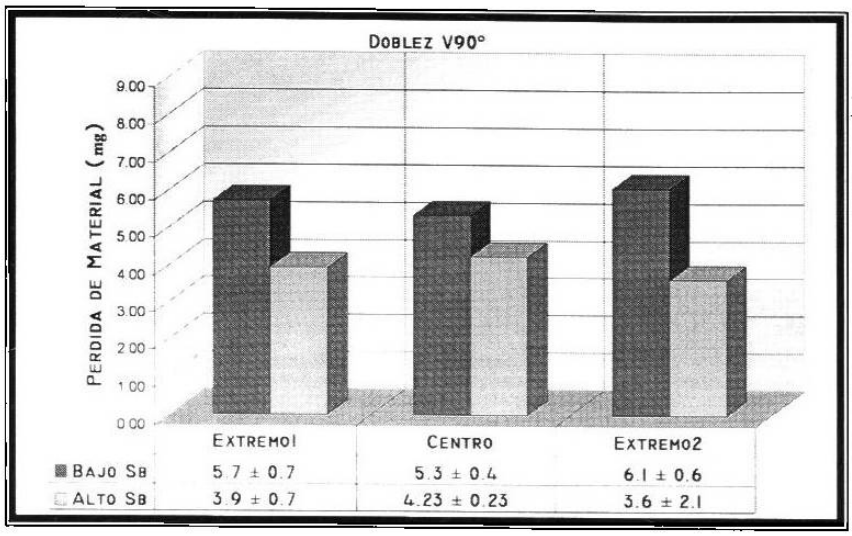


Figura 5.21. – Variación en la integridad del recubrimiento a lo ancho del rollo (Doblez a 90°).

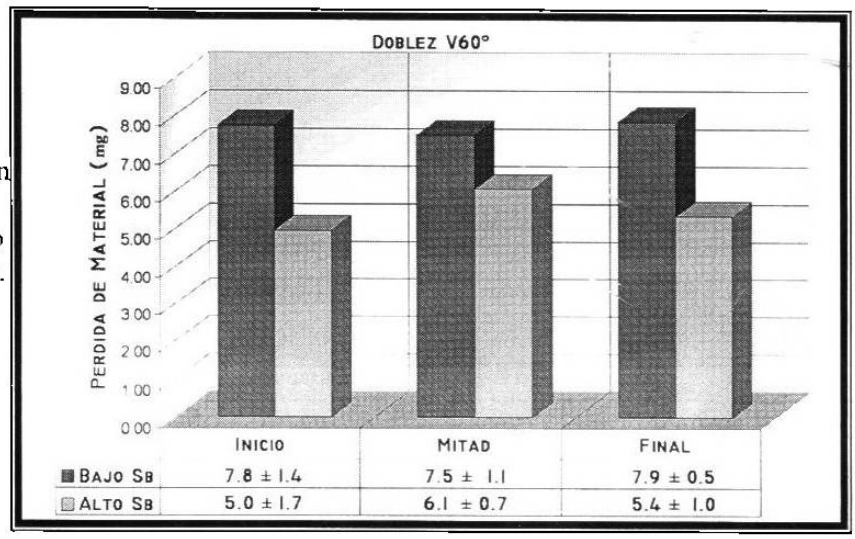


Figura 5.22. – Variación en la integridad del recubrimiento a lo largo del rollo (Doblez a 60°).

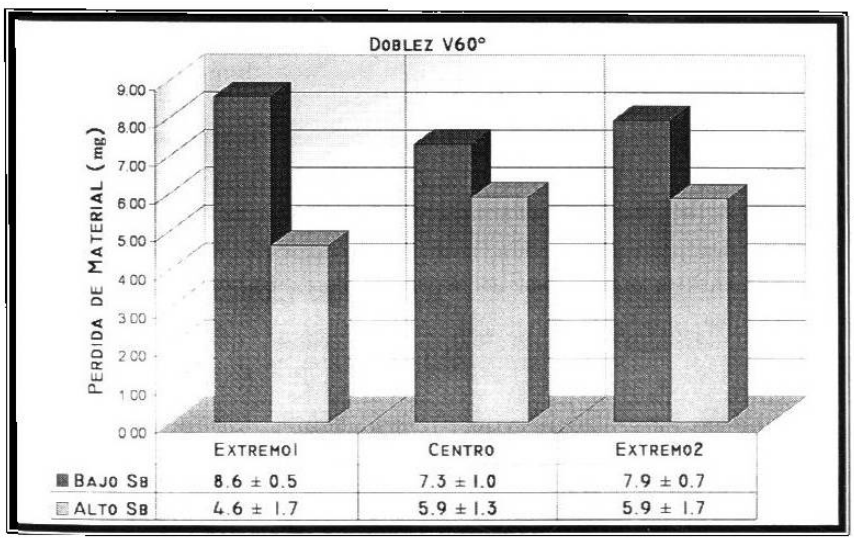


Figura 5.23. – Variación en la integridad del recubrimiento a lo ancho del rollo (Doblez a 60°).

5.6 CARATERIZACIÓN DE LOS ELECTRODOS.

A continuación se presentan los resultados de la caracterización de los electrodos.

5.6.1 Microestructura y microdureza.

La Figura 5.24 obtenida en el microscopio óptico, corresponde a una imagen de la microestructura del material de los electrodos, mientras que en la Figura 5.25 se presentan los resultados del análisis químico y el ensayo de microdureza del mismo.

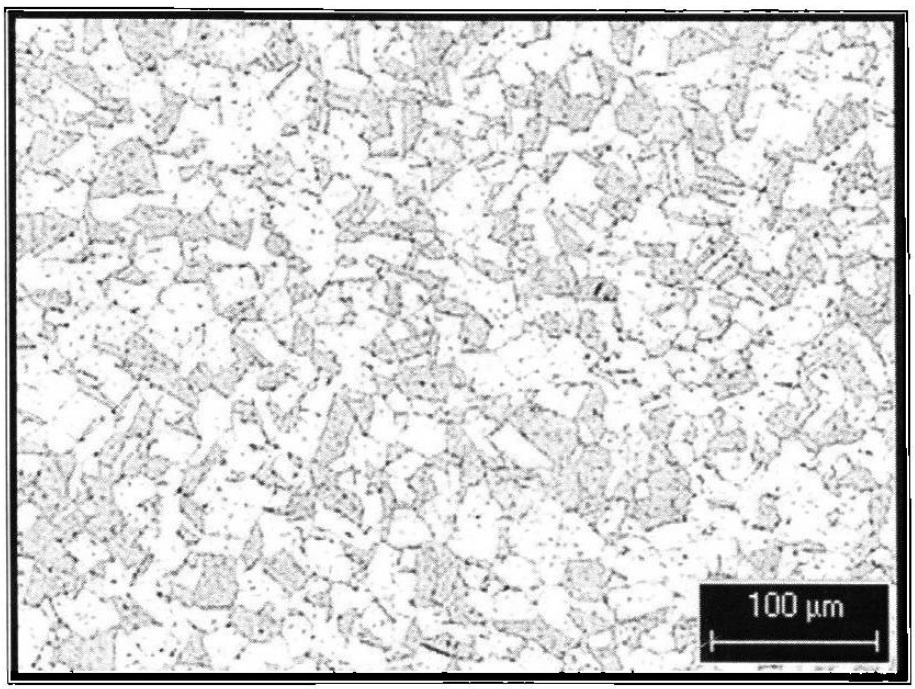
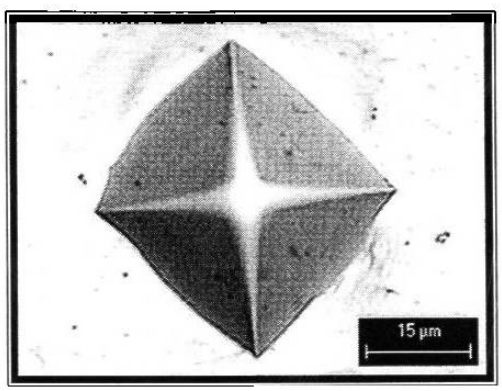


Figura 5.24. – Micrografía del material de los electrodos, presenta una microestructura poligonal endurecida con precipitados finamente dispersos de Cr y Zr.



Comp. Química	
Elemento	**%**
Cr	1.79
Zr	0.78
Cu (Balance)	97.43

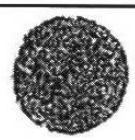
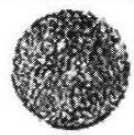
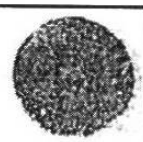
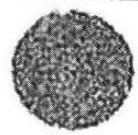
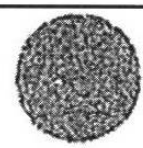
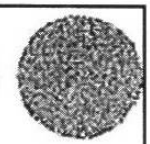
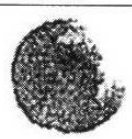
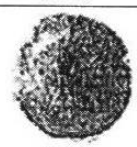
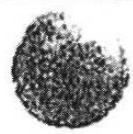
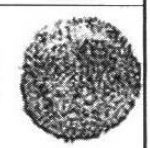
Microdureza (HV)
83 ± 8 (η = 6)

Figura 5.25. – Huella del ensayo de microdureza Vickers y valores promedio de microdureza y composición química del material de los electrodos.

5.6.2 Deterioro de la cara de los electrodos.

Las impresiones de la huella de los electrodos tomadas sobre papel carbón al inicio y fin de la prueba de calidad de la soldadura de ambos materiales, así como el diámetro inicial y final promedio se muestran en la Tabla 5.11. Estás impresiones son utilizadas para determinar la geometría de contacto de los electrodos.

Tabla 5.11. – Impresiones de la cara de los electrodos al inicio y fin de la prueba de calidad de la soldadura en ambos materiales.

	Bajo Sb			Alto Sb		
	Comp.	**Superior**	**Inferior**	**Comp.**	**Superior**	**Inferior**
Inicial	 5.03	 5.13	 5.24	 5.13	 5.26	 5.25
Final	 4.89	 5.33	 5.19	5.25	5.42	 5.17

Mediciones en mm para ($\eta = 6$).

La Figura 5.26 presenta imágenes de la cara de los electrodos al término de las pruebas de calidad de la soldadura, en ellas se observa la interacción entre los electrodos y el recubrimiento del material soldado, además de un ligero aumento en el tamaño de la cara de los electrodos.

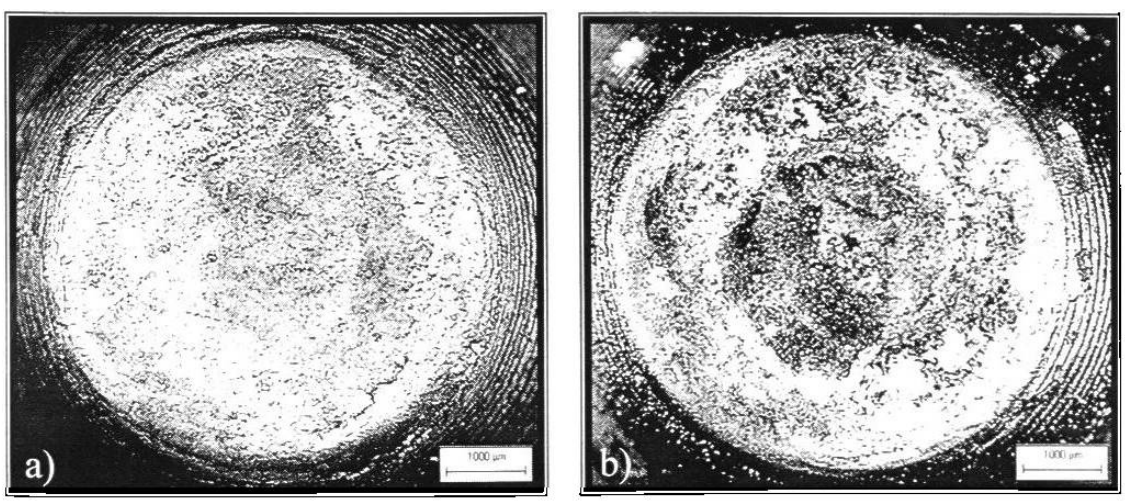
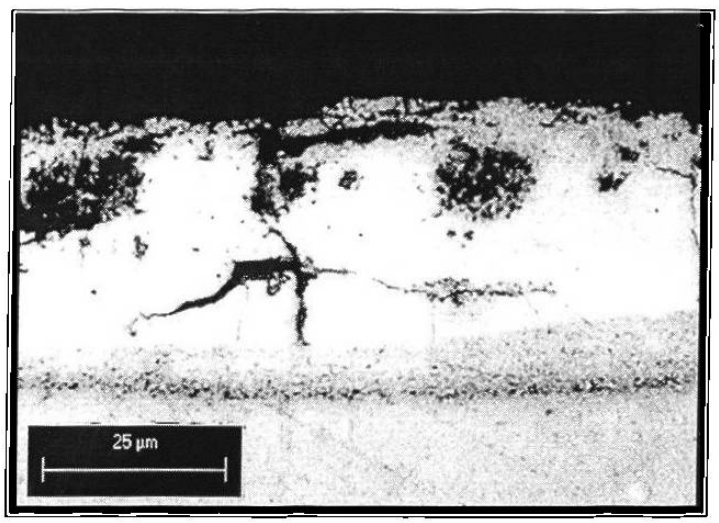


Figura 5.26. – Cara de los electrodos al finalizar la prueba de calidad de soldadura. a) Electrodo inferior, bajo Sb. b) Electrodo inferior, alto Sb.

En la condición de bajo Sb el diámetro del electrodo inferior aumentó 6.4% (5.32mm) y del electrodo superior 7.4% (5.37mm), mientras que en la condición de alto Sb el aumento fue de 9.0% (5.45mm) en el electrodo inferior y 7.6% en el electrodo superior (5.38mm).

5.6.3 Sección transversal del electrodo.

La imágenes mostradas en las Figuras 5.27 y 5.28 corresponden a la sección transversal del electrodo, en la primera se aprecia la formación de fases de aleación Cu-Zn sobre la cara del mismo (identificadas a traves de la literatura [73]) y sus valores de microdureza, mientras que la segunda muestra adherencia proveniente del recubrimiento GA concentrada cerca de la periferia del electrodo. La capa de latón β tiene un espesor de 10.0 ± 2.4μm en el recubrimiento de bajo Sb, y de 18 ± 6μm en el recubrimiento de alto Sb, mientras que el espesor de la capa de latón γ es de 8.4 ± 2.2μm para la condición de bajo Sb y de 11.0 ± 3.4μm para alto Sb, (mediciones para η = 8).



Fase	Microdureza (HV)
Capa Ext.	154 ± 11
Latón (γ)	233 ± 16
Latón (β)	100 ± 14
Cobre	83 ± 8

Figura 5.27. – Fases de aleación formadas sobre la cara del electrodo y su valor de microdureza; Mediciones para (η = 6).

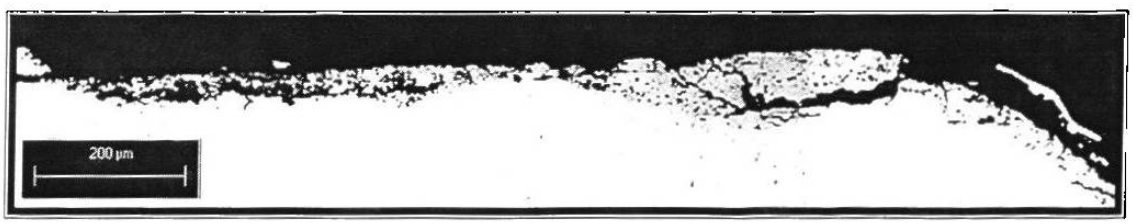


Figura 5.28. – Micrografía de seccion transversal del electrodo que muestra adherencia sobre la cara del electrodo.

Las Figuras 5.29 y 5.30 corresponden a imágenes de la sección transversal de los electrodos tomadas en el microscopio electrónico de barrido a 10000 aumentos, en ellas se aprecia la formación de fases y adherencia en los electrodos.

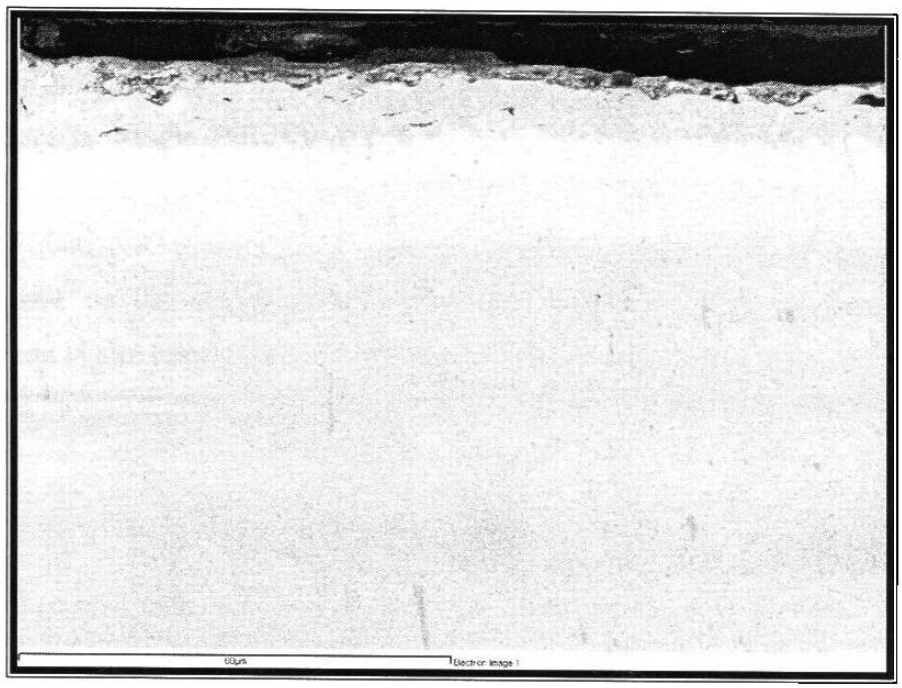


Figura 5.29. – Micrografía de sección transversal del electrodo que muestra las fases de aleación formadas en el material de bajo Sb.

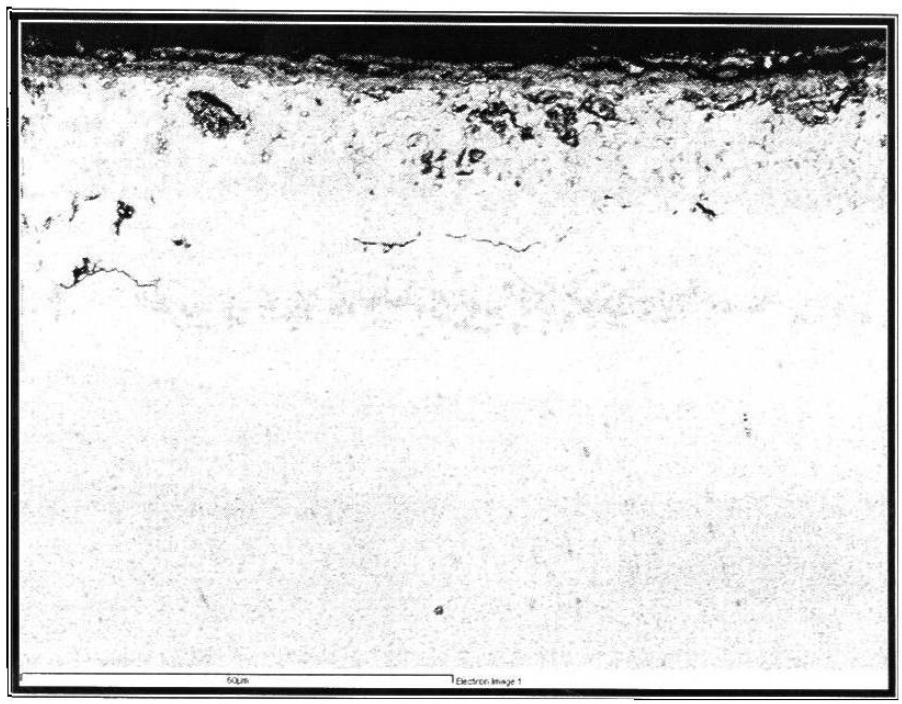


Figura 5.30. – Micrografía de sección transversal del electrodo que muestra las fases de aleación formadas en el material de alto Sb.

Mientras que en las Figuras 5.31 y 5.32 se observa una línea de barrido de las intensidades de Fe, Zn, Cu y Cr presentes a través de un corte transversal en la cara de los electrodos utilizados en las pruebas de calidad de soldadura de ambos materiales. En los que se aprecia la formación de distintas fases de aleación cobre-zinc, principalmente latón beta (β), latón gamma (γ) y una aleación Fe-Zn en la capa externa. La composición de estas fases se incluye en la Tabla 5.12.

La Figura 5.33 muestra la imagen de uno de los precipitados formados en el material base de los electrodos, constituidos principalmente por cromo, lo que se confirma con la alta intensidad de Cr registrada en el barrido de la Figura 5.31.

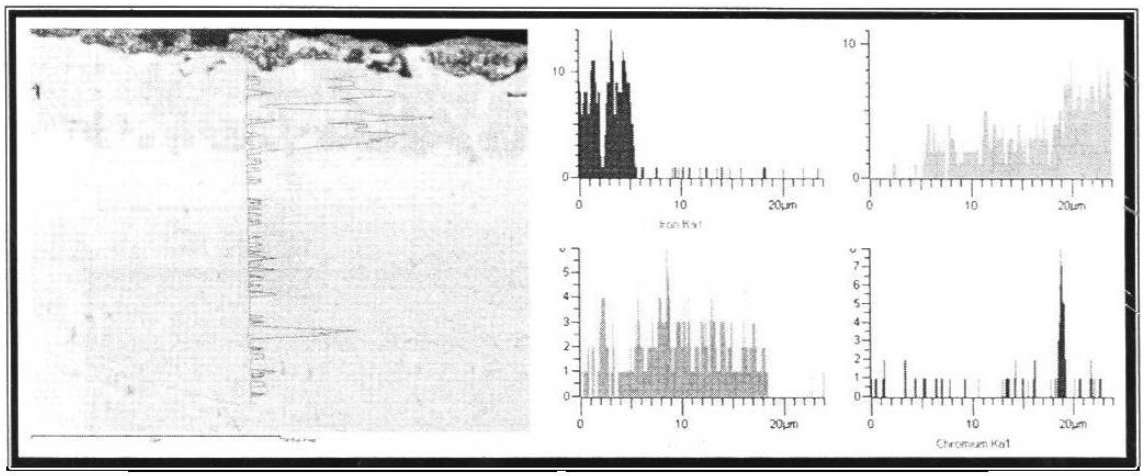


Figura 5.31. – Línea de barrido de intensidades de Fe, Zn, Cu y Cr en un corte transversal del electrodo utilizado en la prueba del material con bajo contenido de Sb.

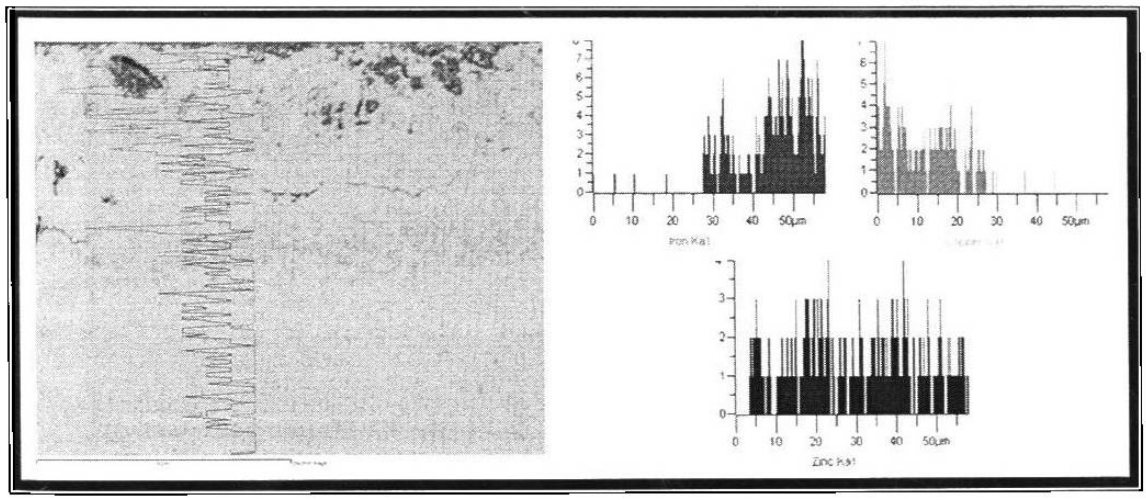


Figura 5.32. – Línea de barrido de intensidades de Fe, Zn y Cu en un corte transversal del electrodo utilizado en la prueba del material con alto contenido de Sb.